

УДК 621.225

**В. Б. САМОРОДОВ, Г. А. АВРУНИН, И. И. МОРОЗ, Е. С. ПЕЛИПЕНКО****ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ**

Изучение применения объемного гидропривода (ОГП), в частности, номенклатуры, особенностей и технического уровня гидроустройств навесного оборудования сельскохозяйственных тракторов. Дан анализ гидравлических принципиальных схем насосных установок, приводов гидроцилиндров навесного оборудования и гидромоторов приводов внешних рабочих органов, к которым подводится мощность от ОГП трактора. В основу анализа положены ОГП тракторов ведущих мировых производителей. Показана эволюция ОГП тракторов от использования насосов с постоянным рабочим объемом и гидрораспределителей с ручным управлением до современных систем, в основе которых лежит энергосберегающая концепция с аксиальнопоршневыми насосами, снабженными автоматическими регуляторами «давление/подача» и гидрораспределителями с пропорциональным электрическим и электрогидравлическим управлением. Рассмотрены технические характеристики систем ОГП для заднего навесного оборудования Hitch Control обеспечения качественной технологии пахоты трактора. Систематизированы сведения о применяемых сортах рабочей жидкости и требованиях к тонкости фильтрации. Приведены аналитические зависимости для оценки потерь мощности в ОГП с дроссельным управлением при применении гидромоторов приводов внешних потребителей. Статья может быть полезной для специалистов при проектировании новых тракторов и модернизации находящихся в эксплуатации, а также аспирантов и студентов, изучающих дисциплину «Гидро-та пневмосистемы в автотракторобудовании»

**Ключевые слова:** Объемный гидропривод, навесное устройство трактора, насос, гидромотор, гидроцилиндр, гидрораспределитель, рулевое управление.

**В. Б. САМОРОДОВ, Г. А. АВРУНИН, І. І. МОРОЗ, Є. С. ПЕЛИПЕНКО****ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБ'ЄМНИХ ГІДРОПРИВІДІВ НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ**

Вивчення застосування об'ємного гідропривода (ОГП), зокрема, номенклатури, особливостей і технічного рівня гідроприводів навесного устаткування сільськогосподарських тракторів. Даний аналіз гідролічних принципів схем насосних установок, приводів гідроциліндрів навесного устаткування і гідромоторів приводів зовнішніх робочих органів, до яких підводиться потужність від ОГП трактора. У основу аналізу покладені ОГП тракторів провідних світових виробників. Показана еволюція ОГП тракторів від використання насосів з постійним робочим об'ємом і гідророзподільників з ручним управлінням до сучасних систем, в основі яких лежить енергосбережна концепція з аксіальнопоршневими насосами, забезпеченими автоматичними регуляторами «тиск/витрата» і гідророзподільниками з пропорційним електричним і електрогидравлічним управлінням. Розглянуті технічні характеристики систем ОГП для заднього навесного устаткування Hitch Control забезпечення якісної технології оранки трактора. Систематизовані відомості про вживані сорти робочої рідини і вимоги до тонкості фільтрації. Приведені аналітичні залежності для оцінки втрат потужності в ОГП з дросельним управлінням при застосуванні гідромоторів приводів зовнішніх споживачів. Стаття може бути корисною для фахівців при проектуванні нових тракторів і модернізації, що знаходяться в експлуатації, а також аспірантів і студентів, що вивчають дисципліну «Гідро-та пневмосистеми в автотракторобудуванні».

**Ключеві слова:** Об'ємний гідропривод, навесний пристрій трактора, насос, гідромотор, гідроциліндр, гідророзподільник, рульове керування.

**V. B. SAMORODOV, H. A. AVRUNYN, Y. Y. MOROZ, E. S. PELYPENKO****MAIN DIRECTIONS OF THE IMPROVEMENT OF VOLUME HYDRAULIC DRIVES OF HANGING EQUIPMENT OF AGRICULTURAL TRACTORS**

Study of application of by hydraulic fluid power (HFP), in particular, nomenclature, features and technical level of hydraulic units of hanging equipment of agricultural tractors. The analysis of hydraulic fundamental charts of pumping options is given, drives of hydraulic cylinders of hanging equipment and hydraulic motors of drives of external working organs to that power is tricked into from HFP of tractor. HFP of tractors of leading world producers is fixed in basis of analysis. The evolution of HFP of tractors is shown from the use of pumps with a variable displacement and directional control valve with hand control to the modern systems, that energy-saving conception is the basis of with the axial piston pumps, provided with automatic regulators «pressure/output flow» and by directional control valve with a proportional electric and electro-hydraulic management. Technical descriptions of the systems of HFP are considered for the back hanging equipment of Hitch Control providing of quality technology of ploughing of tractor. Information is systematized about the applied sorts of working liquid and requirements to fineness of filtration. Analytical dependences over are brought for the estimation of losses of power in FHP with a choke management at application of hydraulic motors of drives of external consumers. The article can be useful to the specialists at planning of new tractors and modernisation being in exploitations, and also graduate students and students, studying discipline of «Hydraulic fluid and pneumatic power in tractors».

**Keywords:** Hydraulic fluid power, hitch tractor, pump, hydraulic motor, cylinder, valve, steering

**Введение.** Высокая энергонасыщенность сельскохозяйственных тракторов насосными установками высокого давления и расхода дают возможность подсоединения к ним сельскохозяйственных посевных, уборочных и кормораздаточных машин.

Анализ параметров тракторных объемных гидроприводов (ОГП) навесного оборудования показал [1]:

- давление рабочей жидкости (РЖ) в ОГП для малых мощностей ДВС (17-51 кВт) находится в диапазоне 12-20 МПа, для более высоких значений (53-386 кВт) находится в узком диапазоне значений в 18-21 МПа;

- установочная мощность ОГП в целом возрастает от 4 до 94 кВт пропорционально установочной мощности ДВС от 17 до 386 кВт;

- по развиваемому ОГП усилию навесного оборудования наблюдается общая тенденция к его

увеличению от 4 до 120 кН с ростом мощности тракторов, однако уже при достижении мощности ДВС в 90 кВт рост тягового усилия практически не повышается.

В табл. 1 приведены технические характеристики гидросистем колесных тракторов производства ведущих мировых фирм, охватывающие мощности ДВС от 61 до 375 кВт. Следует отметить рост «гидравлической» энерговооруженности тракторов до 0,18-0,4 (соотношение мощностей насосной установки гидропривода к мощности дизеля  $P_{\text{огп}} / P_{\text{двс}}$ ), замену моноблочных гидрораспределителей на секционные, широкое использование в качестве привода золотников ручных (мускульных) и электрогидравлических устройств, переход на энергосберегающие системы LS с насосами постоянной подачи и переменной с регуляторами изменения рабочего объема «расход-давление».

Спецификой современных гидроприводов навесного оборудования является применение наряду с гидроцилиндрами гидромоторов, автоматизация работы переднего и заднего навесных устройств, переход на электрогидравлическое управление с высоким уровнем сервиса на базе использования программируемых контроллеров с обеспечением широкого выбора режимов работы гидромоторов и гидроцилиндров по частоте вращения, быстродействию, плавности переходных процессов и диагностированию технического состояния.

Большой интерес представляют рекомендации производителей тракторов по эксплуатации гидросистем, в частности, по выбору сорта РЖ, обеспечению ее подогрева в период зимней эксплуатации, поддержанию оптимального теплового режима, фильтрации РЖ, сроках ее замены, определения неисправностей в ОГП и способах их устранения. Тенденции развития ОГП для тракторов [2-9] приведены на рис. 1.

Таблица 1 – Характеристики двигателя и гидропривода колесных тракторов ведущих мировых фирм

Изготовитель трактора, $P_{\text{двс}}$ [кВт]/ $n$ [мин <sup>-1</sup> ]	$Q$ , л/мин	$P$ , МПа	$P_{\text{огп}}$ , кВт	Тип ОГП: Насос; гидрораспределители; ЗНУ	$P_{\text{огп}} / P_{\text{двс}}$
John Deere. Модель 6100D и 6130D. 61-78/2200	67	20	22	НШ32+НШ12; 5 секций LS – М*	0,33
John Deere. Модель SE 6920 114/2100	76	20	25,3	НШ; 3 секции LS-М, включая ЗНУ-ЭГПА	0,22
FENDT. Vario 922...936, 140-243/2200	160	21	56	АП; 1...4(1...8) секций LS-ЭГПА, ЗНУ-ЭГПА	0-0,23
CASE IH, мод. STEIGER STX и IT, 279...373/2100	150 210	21 21	53 70	АП71(100)+НШ38; 5секций LS-ЭГПА	0,19 0,19
Buhler Versatile inc. 216-375/ 2100	170 189	20 20	57 63	АП+НШ; 4секции LS-М, ЗНУ - ЭГПА	0,26 0,17
Беларус 2522В, 3022В, 3522 198/2200	99	21	35	АП45+НШ19(руль); 4 секции LS-М или ЭГПА, ЗНУ-ЭГПА	0,18
Погрузчик Terex 820, 75/2200 2 насоса	160	22,5	60	НШ+НШ (тандем); 3 секции-ЭГПА	0,8
ХТЗ 17221, 132/2200	95	20	32	НШ56; 5 секций LS-М	0,24

Примечания:  $P_{\text{двс}}$  и  $n$  – номинальная мощность и частота вращения ДВС; АП – аксиальнопоршневой насос с регулируемым рабочим объемом; НШ – шестеренный; тип управления гидрораспределителем: ЗНУ – заднее навесное устройство; М – мускульное (ручное); ЭГПА – электрогидравлическое пропорциональное; М\* – с перенастройкой распределителя для работы в режиме погрузчика.

Структурные схемы гидросистем колесных тракторов ХТЗ



Рис. 1. Структурные схемы объемных гидроприводов рулевого управления и навесного устройства колесных тракторов с учетом их исторического развития

**Основная часть.** К одной из наиболее «гидрофицированных» конструкций относятся колесные тракторы фирмы CASE IH (США) серий STEIGER STX и IT (схема гидравлическая принципиальная № 86636869 для моделей NH-275/325 и 375/425/450) [5].

Тракторы снабжены шестицилиндровыми дизельными двигателями CUMMINS OSX15 с турбонаддувом: рабочий объем 15000 см<sup>3</sup>; эксплуатационная частота вращения 2000-2100 мин<sup>-1</sup>; мощность 279...373 кВт. Масса тракторов при двойных шинах от 15889 до 21812 кг. ОГП трактора обеспечивает функционирование:

1. Рулевого управления с насосом-дозатором;
2. Тормозных систем - стояночной и рабочей;
3. Навесного оборудования - до 7 точек подсоединения внешних гидроустройств (гидроцилиндров и гидромоторов);
4. Системы охлаждения.

Объем РЖ (CASE AKCEL HY-TRAN-ULRTA) в гидросистеме - 110 дм<sup>3</sup>.

Насосные установки ОГП трактора:

1. Насос аксиальнопоршневой с рабочим объемом  $71 \text{ см}^3$  на максимальное давление 21 МПа с автоматическим регулятором «подача-давление» обслуживает двухсекционный гидрораспределитель с четырехпозиционными золотниками («подъем-опускание-нейтраль-плавающая») и встроенными гидрозамками. Предохранительный клапан на входе в гидрораспределитель не устанавливается. Управление золотниками электрогидравлическое, пропорциональное.

2. Насос трехсекционный («триплекс»):

2.1. Аксиальнопоршневой с автоматическим регулятором «подача-давление» с рабочим объемом  $71 \text{ см}^3$  (имеется также опция  $100 \text{ см}^3$ ) на давление 21 МПа. Насос обслуживает пятисекционный гидрораспределитель и рулевое управление через приоритетный клапан;

2.2. Шестеренный насос с рабочим объемом  $38,2 \text{ см}^3$  на давление 0,8 МПа обслуживает систему фильтрации и обеспечивает антикавитационную защиту штоковых полостей гидроцилиндров муфт сцепления;

2.3. Шестеренный насос с рабочим объемом  $55,2 \text{ см}^3$  на давление 3,7 МПа обслуживает тормозную систему и систему управления гидрораспределителями;

3. Насос аксиальнопоршневой системы охлаждения (устанавливается только на тракторах серии NH-450) с рабочим объемом  $44 \text{ см}^3$  на давление до 21 МПа. Электрогидравлическая пропорциональная система изменения рабочего объема обеспечивает регулирование частоты вращения гидромотора привода вентилятора (рабочий объем гидромотора  $28 \text{ см}^3$ ). Частота вращения всех насосов до  $2100 \text{ мин}^{-1}$ .

Гидрораспределители:

1. Гидрораспределитель навесного оборудования - пятисекционный с четырехпозиционными золотниками («подъем-опускание-нейтраль-плавающая») и встроенными гидрозамками имеет 6-и линейное исполнение. Предохранительный клапан на входе в гидрораспределитель не устанавливается. Управление золотниками электрогидравлическое, пропорциональное;

2. Двухсекционный гидрораспределитель с четырехпозиционными золотниками («подъем-опускание-нейтраль-плавающая») и встроенными гидрозамками имеет шестилинейное исполнение. Предохранительный клапан на входе в гидрораспределитель не устанавливается. Управление золотниками электрогидравлическое, пропорциональное. Особенностью конструкции является сочетание гидрозамка и плавающей секции гидрораспределителя. Для управления гидрозамком в плавающей позиции золотника имеется специальный канал, который сообщает линию нагнетания насоса  $p$  с линией управления открытия гидрозамка. Гидрораспределители имеют отверстия для подсоединения дренажных трубопроводов

гидромоторов прицепного технологического оборудования тракторов. Регулирование расхода РЖ с помощью пропорционального электромагнитного управления при перемещении золотников обеспечивается в диапазоне  $8-114 \text{ л/мин}$ ;

3. Блок автоматизации работы гидроцилиндров навесного оборудования (Hitch control) включает гидрораспределители и пилотные редуцирующие клапаны с пропорциональным электромагнитным управлением.

ОГП рулевого управления содержит насос-дозатор с рабочим объемом  $787 \text{ см}^3$  для моделей STX 375/425/450 и  $984 \text{ см}^3$  для STX 275/325, функционирует совместно с клапаном приоритета с системой энергосбережения LS.

Тормозная система:

1. Стояночный тормоз (на передней и задней осях) нормально-замкнутого типа с гидравлически растормаживанием с помощью гидрораспределителя с электромагнитным управлением;

2. Рабочая с гидравлическим пропорциональным управлением от педали, воздействующей на тормозной (редукционный) клапан. Давление до 3,7 МПа.

На рис. 2 представлена гидравлическая принципиальная схема 2-х секционного гидрораспределителя (Блок А) с электрогидравлическим пропорциональным управлением положения основных золотников P1 и P2. Рабочие позиции золотников P1 и P2 обозначены цифрами: «подъем - 1», «опускание - 3», «нейтральная - 2», «плавающая - 4». В позиции подъем (1) на выходе из золотников установлены гидрозамки 3M1 и 3M2. Управление золотниками P1 и P2 осуществляется редуцирующими клапанами KP1 и KP2 с пропорциональными электромагнитами путем подвода давления под торцы золотников. Подвод расхода РЖ от насоса (давление  $p$ ) к золотникам P1 и P2 осуществляется через гидрораспределители P1y и P2y, соответственно. Гидрораспределители P1y и P2y имеют гидравлическое пропорциональное управление – от основного потока  $p$  из линии нагнетания насоса H1 (давление через дроссель действует на нижний торец золотника) и давления в гидроцилиндре или гидромоторе A1 - B1 или A2 - B2 (от линии энергосбережения LS), действующие на верхний торец золотника. В нейтральном положении основного золотника, например P1, пружина удерживает золотник гидрораспределителя P1y в нижнем положении, когда насос H1 не вращается (давление  $p = 0$ ). При запуске насоса H1 давление  $p$  поступает под нижний торец золотника P1y, смещая его вверх. При этом нормальное функционирование ОГП соответствует среднему положению золотника P1y - поток РЖ под давлением  $p$  от насоса H1 нагнетается к гидроцилиндру или гидромотору и под нижний торец золотника.

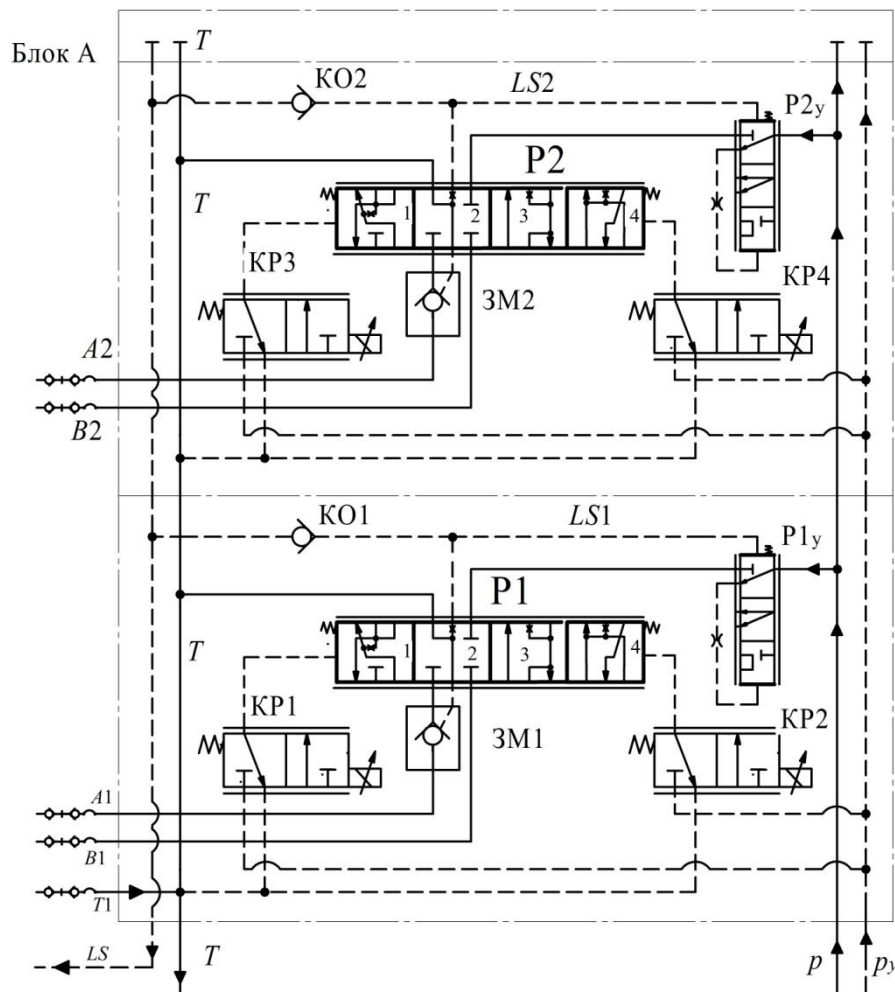


Рис. 2. Гидравлическая принципиальная схема 2-х секционного гидрораспределителя с электромагнитным пропорциональным управлением тракторов CASE IH серии STEIGER STX

При повышенном давлении смещение золотника  $P1y$  вверх приводит к разобщению линии нагнетания  $p$  насоса  $H1$  от основного золотника  $P1$  и функционирование гидромотора или гидроцилиндра прекращается.

Особенностью конструкции является сочетание гидрозамка  $ЗМ$  и плавающей секции основного золотника гидрораспределителя  $P$ . Для управления гидрозамком в плавающей позиции золотника (позиция «4» на схеме) имеется специальный канал, который сообщает линию нагнетания насоса  $p$  с линией управления открытия гидрозамка. Линия для подсоединения дренажа гидромотора обозначена  $T1$ .

На рис. 3 представлена гидравлическая принципиальная схема ОГП, обеспечивающая функционирование блока А гидрораспределителей (см. рис. 2) от блока Б насосов  $H1$  и  $H2$ . Особенностью гидросхемы является использование двухпоточной («тандем») насосной установки с приводящим двигателем  $M$ , в которой аксиальнопоршневой насос  $H1$  высокого давления служит для подачи РЖ к гидроцилиндрам или гидромоторам рабочих органов

через гидрораспределители  $P1$  и  $P2$ , а шестеренный насос используется для системы управления перемещением золотников  $P1$  и  $P2$ . Автоматический регулятор насоса  $H1$  типа «подача-давление» снабжен двумя управляющими гидравлическими системами:  $РР$  – регулятора расхода и  $РД$  – регулятора давления, воздействующими на гидроцилиндр  $Ц$  наклонного диска (или блока цилиндров) насоса. Регулятор  $РР$  с помощью сигнала энергосбережения  $LS$  воздействует на гидроцилиндр  $Ц$ , обеспечивая требуемый расход РЖ, т.е. расход, устанавливаемый и пропускаемый гидрораспределителем  $P1$  или  $P2$ , равен расходу, нагнетаемому насосом  $H1$ . При достижении максимального давления в ОГП, равного предварительной настройке регулятора давления  $РД$ , последний смещается вправо, вследствие чего РЖ поступает в гидроцилиндр  $Ц$  и рабочий объем насоса и его подача снижаются до минимального, обеспечивая только компенсацию утечек в зазорах поршневых и распределительной пар.

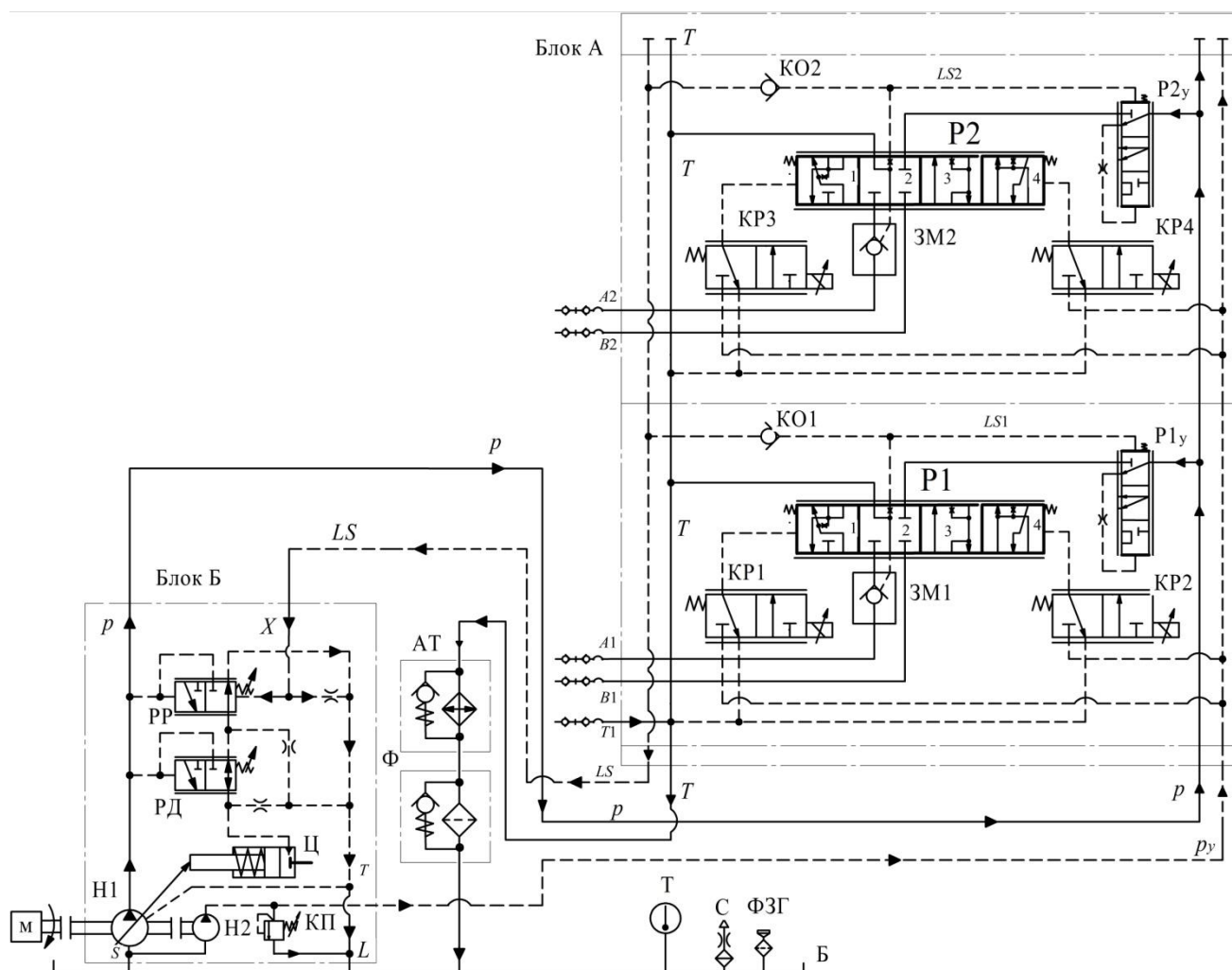


Рис. 3. Гидравлическая принципиальная схема ОГП трактора CASE IH (Блок А):

Н1 – аксиальнопоршневой насос с регулятором «давление-подача» (21 МПа); Н2 – насос шестеренный (4 МПа); АТ – маслоохладитель; Ф – фильтр; Т – термометр; С – сапун; ФЗГ – заливная горловина с фильтром; Б – гидробак

Система автоматизированного управления навесным оборудованием (Hitch control) представлена на рис. 4, в составе которой два гидроцилиндра Ц1 и Ц2, бесштоковые полости которых управляются с помощью пропорциональных (с гидравлическим управлением) двухпозиционных гидрораспределителей:

- трехлинейного гидрораспределителя Р1, обеспечивающего режим выдвижения штоков гидроцилиндров (прямой ход);

- двухлинейного гидрораспределителя Р2, обеспечивающего обратный ход штоков гидроцилиндров.

Свою очередь, функционирование вышеуказанных гидрораспределителей обеспечивается с помощью пилотных редукционных клапанов КР1 и КР2 с электромагнитным пропорциональным управлением:

- при подводе электропитания к магниту клапана КР1 подвод давления управления осуществляется в левую торцовую полость гидрораспределителя Р1, смещая его золотник вправо и открывая проход РЖ от

основного насоса  $p$  к поршневым полостям гидроцилиндров Ц1 и Ц2;

- при подводе электропитания на магнит клапана КР2 подвод давления осуществляется в левую торцовую полость гидрораспределителя Р2, смещая его золотник вправо и открывая проход РЖ из поршневых полостей гидроцилиндров Ц1 и Ц2 на слив *T* и далее в гидробак.

Обратный клапан КО1 предотвращает течение РЖ в линию слива  $T$  гидросистемы при нагружении штоков гидроцилиндров внешней нагрузкой, и в тоже время обеспечивает свободный проход РЖ на слив в гидробак при выдвигании штоков.

Особенностью конструкций редукционных клапанов КР1 и КР2 является подвод давления управления в торцовые полости (каналы х и у). со стороны пружин, противодействующих ходу якоря магнита

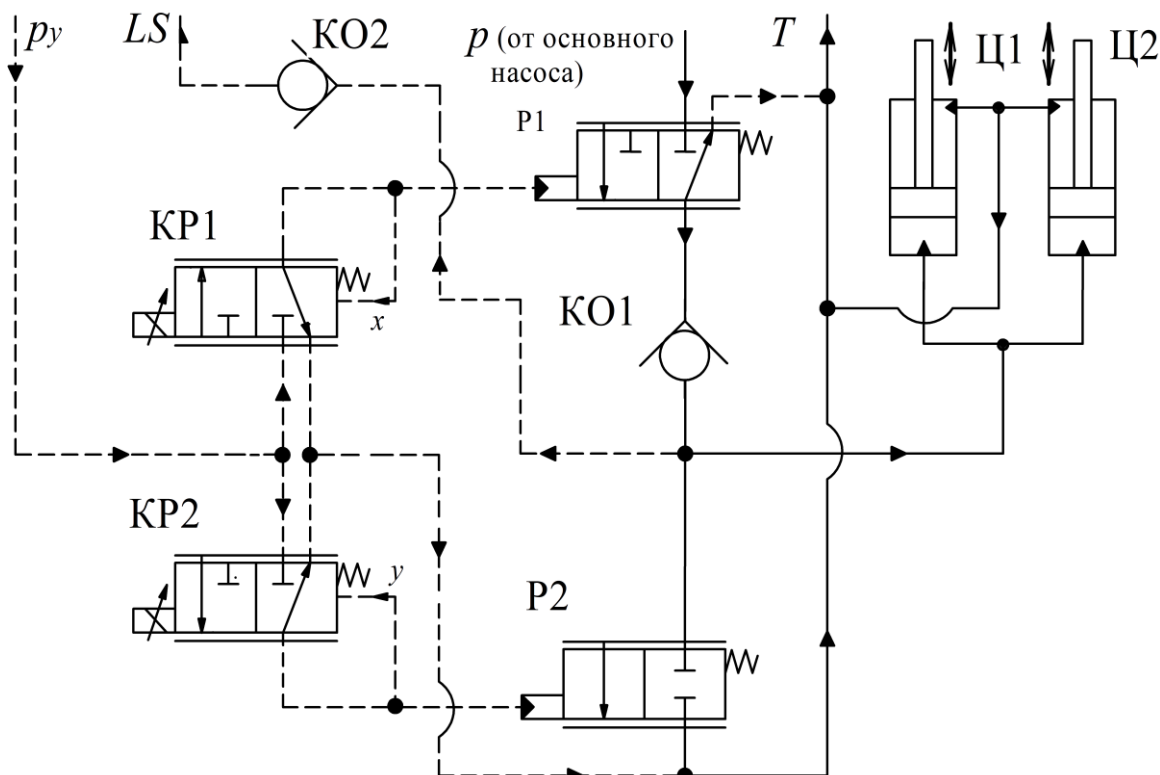


Рис. 4. Гидравлическая принципиальная схема управления автоматизированной системой навесного оборудования трактора CASE IH

На рис. 5 представлена гидравлическая принципиальная схема ОГП трактора, включающая насос с регулируемым рабочим объемом Н1 и постоянным рабочим объемом Н2, двухсекционный гидрораспределитель (золотники Р1 и Р2 в блоке Б), и насос-дозатор НД (входит в блок А) для обеспечения функционирования рулевого управления путем поворота колес с помощью гидроцилиндров Ц1 и Ц2. Реализация работы ОГП рулевого управления (блок А) и навесного оборудования (распределителей блока Б) от одного насоса высокого давления Н1 обеспечивается с помощью приоритетного клапана ПК – автоматически действующего гидрораспределителя с гидравлическим управлением. ОГП тракторов John Deere модели SE 6920 [2,3].

На тракторах модели SE 6920 установлены двигатели 6068TL074 мощностью 114 кВт (155 л/с) при номинальной частоте вращения в 2100 мин<sup>-1</sup>. Рабочий объем 6-и цилиндрового дизеля 6790 см<sup>3</sup>.

Коробка передач - планетарная с гидравлическим управлением, состоит из 20 передач заднего и переднего хода. Привод ВОМ обеспечивает частоту вращения  $1000 \text{ мин}^{-1}$  при передаваемой мощности 100 кВт (136 л/с).

ОГП снабжен шестеренным насосом с системой *LS*, диапазон рабочих давлений от 3 до 20 МПа, вместимость гидробака 56 дм<sup>3</sup>.

Для контроля состояния температуры и чистоты РЖ (трансмиссионной/гидравлической РЖ) на

приборной панели установлены лампы высокой/низкой температуры РЖ и загрязненности фильтроэлемента.

ОГП заднего навесного оборудования (ЗНУ) обеспечивает:

- регулирование значения подъема/опускания (заглубления);
- режим регулирования нагрузки (автоматическое заглубление при снижении нагрузки со стороны почвы и «выглубление» при повышении нагрузки;
- режим амортизации навески при транспортном передвижении.

Давление в гидросистеме навески 20 МПа. Имеется возможность подключения только двух внешних потребителей с помощью быстроразъемных соединений (БРС). При этом допускаемое количество РЖ, потребляемое гидроцилиндрами не должно превышать до 15 дм<sup>3</sup> при максимальном уровне РЖ в баке и до 10 дм<sup>3</sup> при минимально уровне.

Рекомендации при использовании внешнего гидромотора:

- максимальный потребляемый гидромотором расход не более 76 л/мин;
- включение гидромотора во вращение, реверсирование и останов должны производиться только через положение гидрораспределителя «плавающее» во избежание возникновения гидроударов и разрыва РВД.



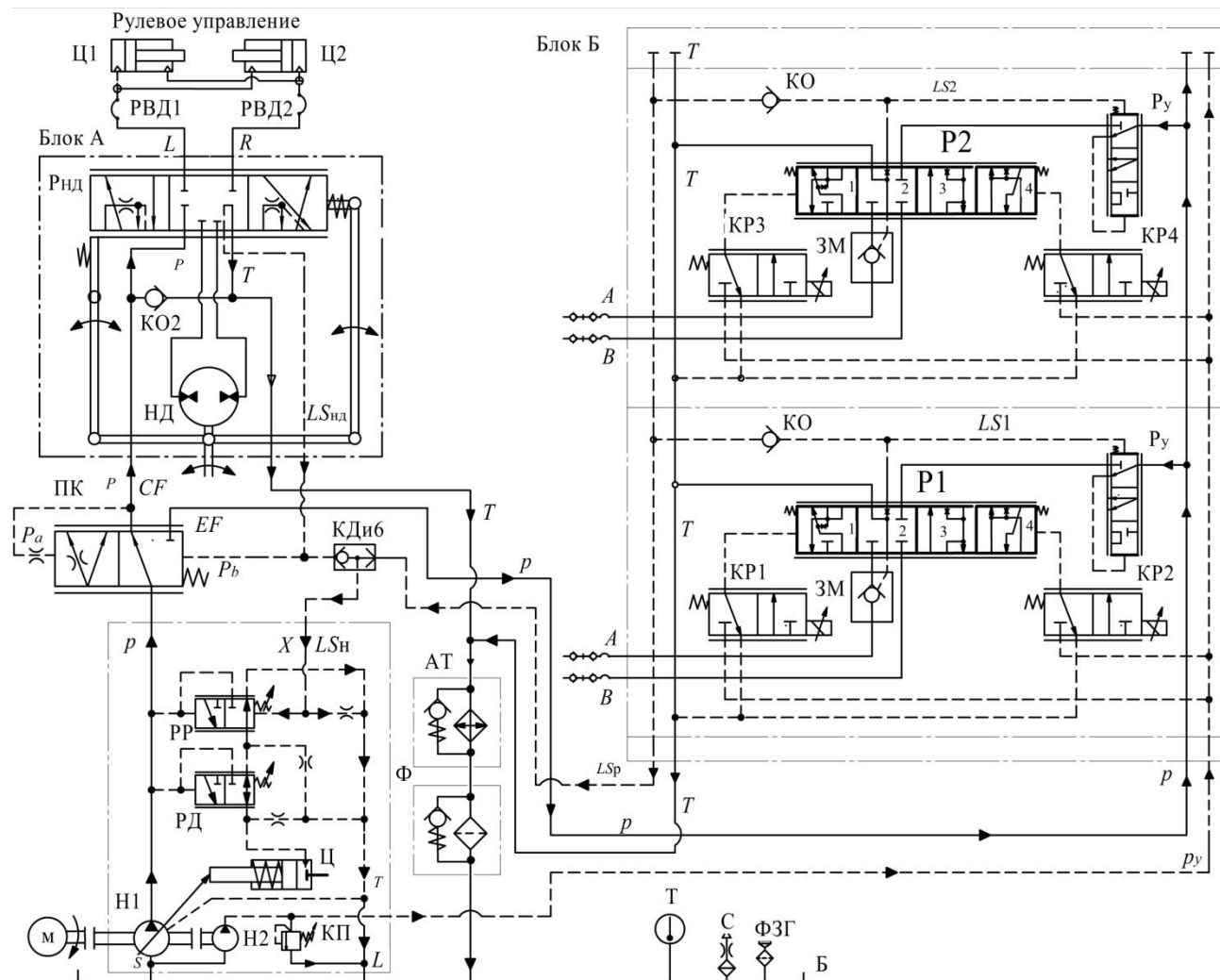


Рис. 5. Гидравлическая принципиальная схема трактора CASE IH с регулируемым насосом, обеспечивающим с помощью клапана приоритета ПК и насоса-дозатора (блок А) функционирование гидроцилиндров Ц1 и Ц2 поворота колес

Сорт РЖ в ОГП:

- John Deere HY-CARD™;
- маловязкое масло John Deere HY-CARD™;
- биоразлагающиеся масла.

Рекомендуемая смена фильтроэлемента - 100 ч и далее через 750 ч.

Замена РЖ через 1500 часов.

О необходимости проведения регламентных работ с системами трактора каждые 250 моточасов перед каждым запуском двигателя раздается соответствующий сигнал.

Тормозная система с ОГП включает регулируемый насос и тормозной кран (индивидуальные редукционные клапаны) по аналогии с тормозной системой французской фирмы «Poclain Hydraulic».

ОГП тракторов моделей 6100D и 6130D.

В тракторах моделей 6100D и 6130D установлены двигатели:

- 6100Д - 61,1 кВт при 2275 мин<sup>-1</sup>;
- 6115Д - 70,8 кВт при 2200 мин<sup>-1</sup>;
- 6130Д - 78,3 кВт при 2200 мин<sup>-1</sup>.

ОГП с открытым центром (разгружает насос от давления и сливает РЖ в гидробак) имеет следующие характеристики:

1. Подача шестеренного насоса рабочего оборудования при частотах вращения 2100 и 900 мин<sup>-1</sup> (холодного хода) составляет 66,62 и 28,6 л/мин, соответственно, следовательно, рабочий объем насоса равен 31,7 см<sup>3</sup>. Тип насоса - «наружный насос», видимо, идет речь о насосе с наружным зацеплением шестерен. Максимальное давление до 20 МПа;

2. Подача насоса рулевого управления составляет 26,3 л/мин при частоте вращения 2100 мин<sup>-1</sup>, следовательно, рабочий объем насоса равен 12,5 см<sup>3</sup>.

3. Насос трансмиссии имеет рабочий объем 12,5 см<sup>3</sup>;

4. Емкость картера трансмиссии - 58 дм<sup>3</sup> (по-видимому, бак объединяет системы ОГП навесного оборудования, рулевого управления и трансмиссии).

Значительное внимание в эксплуатационной документации уделено использованию гидромоторов. Указано о недопустимости применения гидромоторов с высоким эксплуатационным (рабочим) давлением и низкой частотой вращения. Такое требование связано с тем, что при использовании насоса с постоянной подачей в случае, когда по технологии рабочего органа потребляемый гидромотором расход меньше этой подачи, избыточная ее часть сливается через переливной клапан в гидробак. Если работа ведется на

низком давлении, то пропорционально этому давлению незначительные потери мощности на нагрев РЖ. При высоком давлении потери мощности из-за перелива избыточного расхода вызывают интенсивный нагрев РЖ и приводят к риску отказа ОГП трактора. Фирма поставляет отдельно насос для привода от ВОМа, предусматривая согласование значения подачи насоса и потребляемого гидромотором расхода, что снижает риск перегрева ОГП. Имеется также предупреждение о том, что работа гидромотора не может продолжаться более 10 мин во избежание перегрева РЖ.

Математическая модель такого режима работы ОГП при дроссельном регулировании частоты гидромотора выглядит следующим образом [1].

Частота вращения гидромотора определяется по формуле

$$n_m = \frac{10^3 \cdot Q_{др}}{V_m} = 60 \cdot 10^3 \frac{\mu \cdot S_{др}}{V_m} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_n - \frac{M_m}{0,159 \cdot V_m}}, \text{ мин}^{-1},$$

где  $Q_{др}$  – расход через дроссель или регулятор расхода секционного гидрораспределителя

$$Q_{др} = 10^{-3} V_m \cdot n_m = 60 \cdot \mu \cdot S_{др} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_n - \frac{M_m}{0,159 \cdot V_m}}, \text{ л/мин},$$

$V_m$  – рабочий объем гидромотора,  $\text{см}^3$ ;

$n_m$  – частота вращения гидромотора,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$M_m$  – крутящий момент на валу гидромотора [Н.м], который без учета гидромеханического КПД определяют по формуле

$$M_m = 0,159 \cdot V_m \cdot \Delta p, \text{ Н.м};$$

$S_{др}$  – площадь дросселя,  $\text{мм}^2$ ;

$\rho$  – плотность РЖ,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\mu$  – коэффициент расхода;

$p_n$  – давление нагнетания насоса (настраивается переливным клапаном) [МПа], которое из-за потерь давления в системе LS должно быть выше, чем на входе в гидромотор  $p_m$

$$p_n \approx 1,5 \text{ МПа} + p_m, \text{ МПа};$$

$\Delta p = p_m - p_{сл}$  – перепад давлений на гидромоторе, МПа,

$p_{сл}$  – давление на сливе (выходе) из гидромотора, МПа.

Расход РЖ через переливной клапан в гидробак определяется как разность подачи насоса  $Q_n$  и расхода через дроссель к гидромотору

$$Q_{кп} = Q_n - Q_{др}, \text{ л/мин},$$

а потери мощности в ОГП составят

$$P_{потерь} = \frac{Q_{кп} \cdot p_n}{60} = \frac{(Q_n - Q_{др}) \cdot p_n}{60}, \text{ МПа}.$$

Таким образом, только при значениях  $Q_n \approx Q_{др}$  потери мощности стремятся к минимальному значению при частоте вращения гидромотора близкой к максимальной, при снижении частоты вращения неравенство  $Q_n > Q_{др}$  приводит к повышенному тепловыделению в ОГП.

Представляет интерес техническое решение в гидросистеме управления тракторным навесным гидрооборудованием, позволяющее оператору производить перенастройку фиксатора рычага привода золотника гидрораспределителя опции SCV Deluxe (поворотом круглых ручек на гидрораспределителе):

- режим В предназначен при работе с гидромотором и обеспечивает постоянную фиксацию рычага управления в заданном положении (вращение по часовой или против часовой стрелки и нейтраль);

- режим С предназначен для работы с гидроцилиндрами погрузчика и не имеет фиксации золотника в крайних положениях;

- режим D предназначен для работы с гидроцилиндрами навесного оборудования и обеспечивает автоматический возврат золотника в нейтральное положение при достижении поршнем гидроцилиндра одного из крайних положений.

Примечание: настройка фиксатора влияет только на положения выдвижения и втягивания гидроцилиндра и не влияет на «плавающую» позицию.

Рассмотрим технические характеристики ОГП заднего навесного устройства (ЗНУ), широко применяемые в современных тракторах

На рис. 6 приведены гидравлические принципиальные схемы ОГП ЗНУ фирмы BOSCH (Hitch control) [10,11]:

HER 4: Р - шестилинейный (1-6) пропорциональный гидрораспределитель; ЗМ - гидрозамок; КД2 - клапан давления для открытия гидрозамка; КП - клапан предохранительный; ДР - дроссель; Н - насос с регулятором постоянства давления и гидроцилиндром Цн;

ENR 23... LS: P1 - гидрораспределитель трехлинейный (1;2 и 3) пропорциональный подъема плуга; P2 - гидрораспределитель пропорциональный двухлинейный (4 и 5) опускания плуга; КО - обратный клапан; КД - клапан давления; КП - предохранительный клапан;

ENR 5... LS: P1 - гидрораспределитель трехлинейный (1;2 и 3) пропорциональный подъема плуга;

P2 - гидрораспределитель пропорциональный двухлинейный (4 и 5) опускания плуга; КО - обратный клапан; КД - клапан давления.



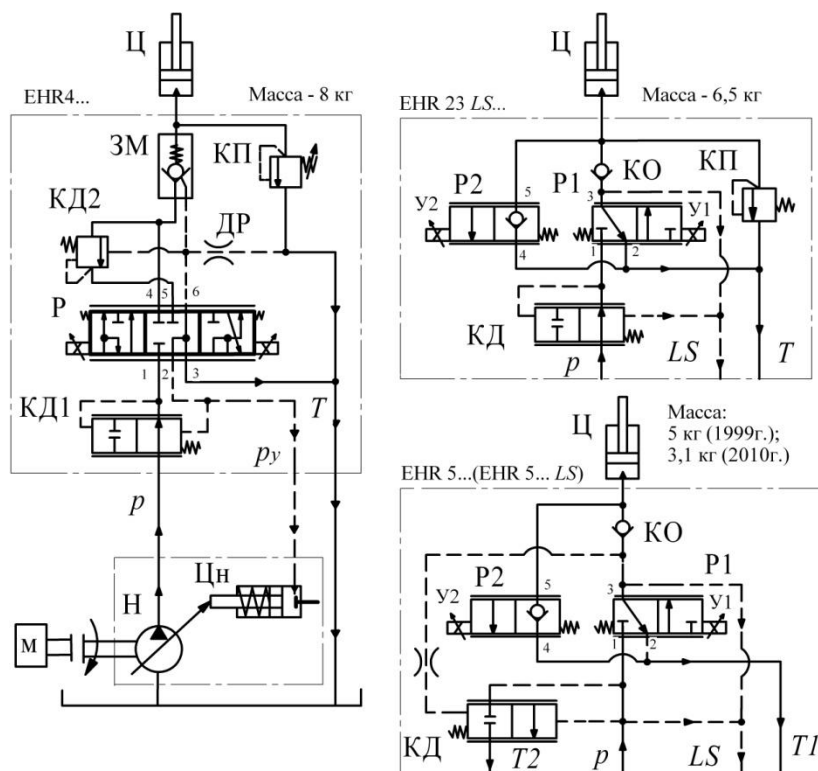


Рис. 6. Гидравлические принципиальные схемы блока автоматизации ЗНУ фирмы «BOSCH»  
На рис. 7 приведена номенклатура оборудования ЗНУ фирмы «BOSCH».

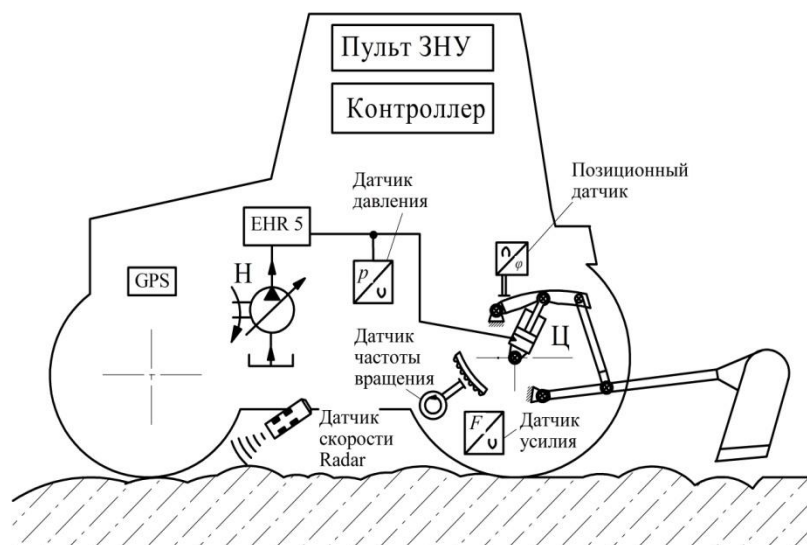


Рис. 7. Структурная схема оборудования для автоматизации ЗНУ фирмы BOSCH

В табл. 2 приведены основные характеристики ОГП для ЗНУ ведущих фирм

Таблица 2 – Характеристики ОГП для ЗНУ тракторов

Фирма, модель	Расход, л/мин / давление, МПа	Герметичность гидроустройства		
		Давление, МПа	Вязкость РЖ, сСт	Утечки, см <sup>3</sup> /мин
Bosch-Rexroth EHR 4	80 / 25	12,5	35	2
Bosch-Rexroth EHR 23 OC (LS)	80 / 25	12,5	35	4
Bosch-Rexroth EHR 5	60 / 22	12,5	35	3
Sauer-Danfoss PVBZ-HS [12]	80-100 / 25	15	21	1 / 6*
Bondoli&Pavesi DO6KO3100M220006R	80 / 20	10	21	0,5

Примечание: 6\* – при наличии вторичного предохранительного клапана.

Следует отметить, что одним из основных требований к ОГП ЗНУ является высокий уровень герметичности гидрораспределителей в диапазоне 0,5-4,0 см<sup>3</sup>/мин.

Представляют также безусловный интерес разработки отечественных ученых по оценке динамических характеристик ОГП навесного оборудования тракторов с использованием пакетов вычислительных блоков VisSim [13,14].

**Выводы.** Наиболее прогрессивной схемой ОГП навесного оборудования трактора следует считать применение регулируемого аксиальнопоршневого насоса с автоматическим комбинированным регулятором изменения рабочего объема «подача/давление», секционных гидрораспределителей с пропорциональным электрическим управлением и клапаном приоритета, обеспечивающим функционирование рулевого управления и навесного оборудования от одного насоса. При применении систем управления глубиной врезания плуга при пахоте (Hitch control) большое внимание уделяется герметичности применяемых гидроустройств, утечка в которых не превышает 1-4 см<sup>3</sup>/мин. Существенную роль играет автоматизация управления и техническое диагностирование ОГП трактора, включая электронные блоки управления, GPS-навигацию, сигнализацию о превышении норм по температуре РЖ и загрязненности фильтроэлемента, необходимости проведения технического обслуживания. Особое внимание уделяется назначению режимов функционирования гидромоторов внешних агрегатов от насосов с постоянным рабочим ОГП трактора из-за риска перегрева.

#### Список литературы

1. Аврунин Г.А. Модернизация объемных гидроприводов навесного оборудования колесных тракторов ПАО «ХТЗ им. С. Орджоникидзе» / Г.А. Аврунин, В. И. Аносов, В. Н. Рулев, В. Б. Самородов. - *Промислова гідроліка і пневматика*, 2014, №4(46), с. 71-82.
2. John Deere. Руководство по эксплуатации. Тракторы 6100D и 6130D (российское издание, октябрь 2011). ONSU27508 Выпуск J1 (RUSSIAN). - USA.
3. Тракторы SE 6920. Руководство по эксплуатации. John Deere Werke Mannheim OMAL 177380. Издание C7 (Russisch). Российская версия исполнения. - 157 с.
4. FENDT. Vario 922, 924, 927, 930, 933, 936. Инструкция по эксплуатации. - 931.000.000.175 Russisch. - AGCO GmbH. - Завод по производству машин и тракторов D-8716 Marktoberdorf (Бавария), Германия. PSD/Ko-SGM 01.09. - 324 G-ru. 340 с.
5. Тракторы колесные фирмы CASE IH, модели STEIGER STX и IT. Схема гидравлическая принципиальная № 86636869 / Для моделей NH-275/325 и 375/425/450.
6. Тракторы 2290, 2335, 2360, 2375, 2425 4WD. Инструкция по эксплуатации. - Buhler Versatile inc. 1260 Clarence Avenue Box 7300 Winnipeg MB R3C 4E8. - 343 с.
7. Трактор MT3 2522B/2522DB/2822ДЦ/3022B/3022ДВ. 2822ДЦ - 0000010 РЭ. Руководство по эксплуатации. 2-у изд., переработанное и дополненное. 2008г., 395 с.
8. Трактор MT3 3222/3522. Класс 5, двигатель 261 кВт. Руководство по эксплуатации 3522-00000 10 РЭ. - 2010. - 376 с.
9. Погрузчики фирмы Terex. Руководство оператора. - Terex 6112087M5. 820 860 880SX и ELITE 970/980 ELITE TX 760B
10. Bosch EHR. Electronic-hydraulic hitch control for tractors. BOSH Automation. 1 987 760 507 AKY 005/7 De/En/Fr 9.99 - AT/PLM - Printed in Germane - 233. - 56 p.
11. Hitch control valves EHR5-OC, EHR5-LS, EHR23-EM2. Rexroth Bosch Group, RE 66125/07.2013. - 22 p.
12. SAUER DANFOSS. Basic module type PVBZ. PVP with integrated HPCO. Tech Note. DKMH.PN.570. N2.02-520L0721-Rev B-11/2004. -16 p.
13. Лурье З. Я. Моделирование рабочего процесса мехатронного гидроагрегата навесного оборудования трактора с обратной связью по усилию / З. Я. Лурье, Е. Н. Цента, А. И. Панченко. - *Промислова гідроліка і пневматика*, 2016, №2(52), с. 53-69.
14. Лурье З. Я. Динамика двухмерной системы управления мехатронного гидроагрегата навесным оборудованием трактора / З. Я. Лурье, Е. Н. Цента, А. И. Панченко. - *Промислова гідроліка і пневматика*, 2017, №3(57), с. 29-46.

#### References (transliterated)

1. Avrunin G. A. Modernizatsiya obemnykh gidroprivodov navesnogo oborudovaniya kolesnykh traktorov PAO «KHTZ im. S. Ordzonikidze» / G. A. Avrunin, G. A., V. I. Anosov, V. N. Rulev, V. B. Samorodov - *Promuslova gidravlica i pnevmatika*, 2014, №4(46), p. 71-82.
2. John Deere. Rukovodstvo po ekspleatatsii. Traktory 6100D i 6130D (rossiyskoe izdanie, oktyabr 2011). ONSU27508 Vypusk J1 (RUSSIAN). - USA - 273 p.
3. Traktory SE 6920. Rucovodstvo po ekspluatatsii. John Deere Werke Mannheim OMAL 177380. Izdanie C7 (Russisch). Rossiyscaya versiya ispolneniya. - 157 c.
4. FENDT. Vario 922, 924, 927, 930, 933, 936. Instruktsiya po ekspluatatsii. - 931.000.000.175 Russisch. - AGCO GmbH. - Zavid po proizvodstvu mashin i traktorov D-8716 Marktoberdorf (Bavariya), Germaniya. PSD/Ko-SGM 01.09. - 324 G-ru. 340 c.
5. Traktory kolesnye firmy CASE IH, modeli STEIGER STX i IT. Skhema gidravlicheskaya printsipialnaya № 86636869 / Для моделей NH-275/325 и 375/425/450.
6. Traktory 2290, 2335, 2360, 2375, 2425 4WD. Instruktsiya po ekspluatatsii. - Buhler Versatile inc. 1260 Clarence Avenue Box 7300 Winnipeg MB R3C 4E8. - 343 c.
7. Traktor MTZ 2522B/2522DB/2822ДЦ/3022B/3022ДВ. 2822ДЦ - 0000010 RE. Rukovodstvo po ekspluatatsii. 2-u izd., pererabotannoe i dopolnennoe. 2008g., 395 c.
8. Traktor MT3 3222/3522. Klass 5, dvigatel 261 кВт. Rukovodstvo po ekspluatatsii 3522-00000 10 RE. - 2010. - 376 c.
9. Pogruzchiki firmy Terex. Rukovodstvo operatora. - Terex 6112087M5. 820 860 880SX и ELITE 970/980 ELITE TX 760B, 860B, 870B, 970 B, 2005г., 291 с. Izgotovitel - Germaniya i Avstriya.
10. Bosch EHR. Electronic-hydraulic hitch control for tractors. BOSH Automation. 1 987 760 507 AKY 005/7 De/En/Fr 9.99 - AT/PLM - Printed in Germane - 233. - 56 p.
11. Hitch control valves EHR5-OC, EHR5-LS, EHR23-EM2. Rexroth Bosch Group, RE 66125/07.2013. - 22 p.
12. SAUER DANFOSS. Basic module type PVBZ. PVP with integrated HPCO. Tech Note. DKMH.PN.570. N2.02-520L0721-Rev B-11/2004. -16 p.
13. Lurye Z.Ya. Modelling of working process mechatronic hydraulic unit of tractor mounted equipment with force feedback / Z. Ya. Lurye, E. N. Tsenta, A. I. Panchenko. - *Promuslova gidravlica i pnevmatika*, 2016, №2(52), p. 53-69.
14. Lurye Z.Ya. Dynamics of two-dimensional control system for mechatronic hydraulic unit of tractor mounted equipment / Z. Ya. Lurye, E. N. Tsenta, A. I. Panchenko. - *Promuslova gidravlica i pnevmatika*, 2017, №3(57), p. 29-46.

Поступила (received) 12.11.2018

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Самородов Вадим Борисович (Самородов Вадим Борисович, Samorodov Vadym Borysovych)** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри автомобіле- та тракторобудування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/orcid/0000-0002-2965-5460>; e-mail: [samorodovvadimat@gmail.com](mailto:samorodovvadimat@gmail.com).

**Аврун Григорій Аврамович (Аврун Григорій Аврамович, Avrunyn Hryhoriy Avramovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0191-3149>; e-mail: [griavrunun@ukr.net](mailto:griavrunun@ukr.net).

**Мороз Ірина Іванівна (Мороз Ірина Іванівна, Moroz Yryna Yvanovna)** – старший викладач, Харківський національний автомобільно-дорожній університет; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5950-2089>; e-mail: [irinamoroz25.01@ukr.net](mailto:irinamoroz25.01@ukr.net).

**Пелипенко Євген Сергійович (Пелипенко Евгений Сергеевич, Pelypenko Evhenyi Serheevych)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри автомобіле- та тракторобудування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8988-791X>; e-mail: [Pelipenkoeugene@gmail.com](mailto:Pelipenkoeugene@gmail.com).